****

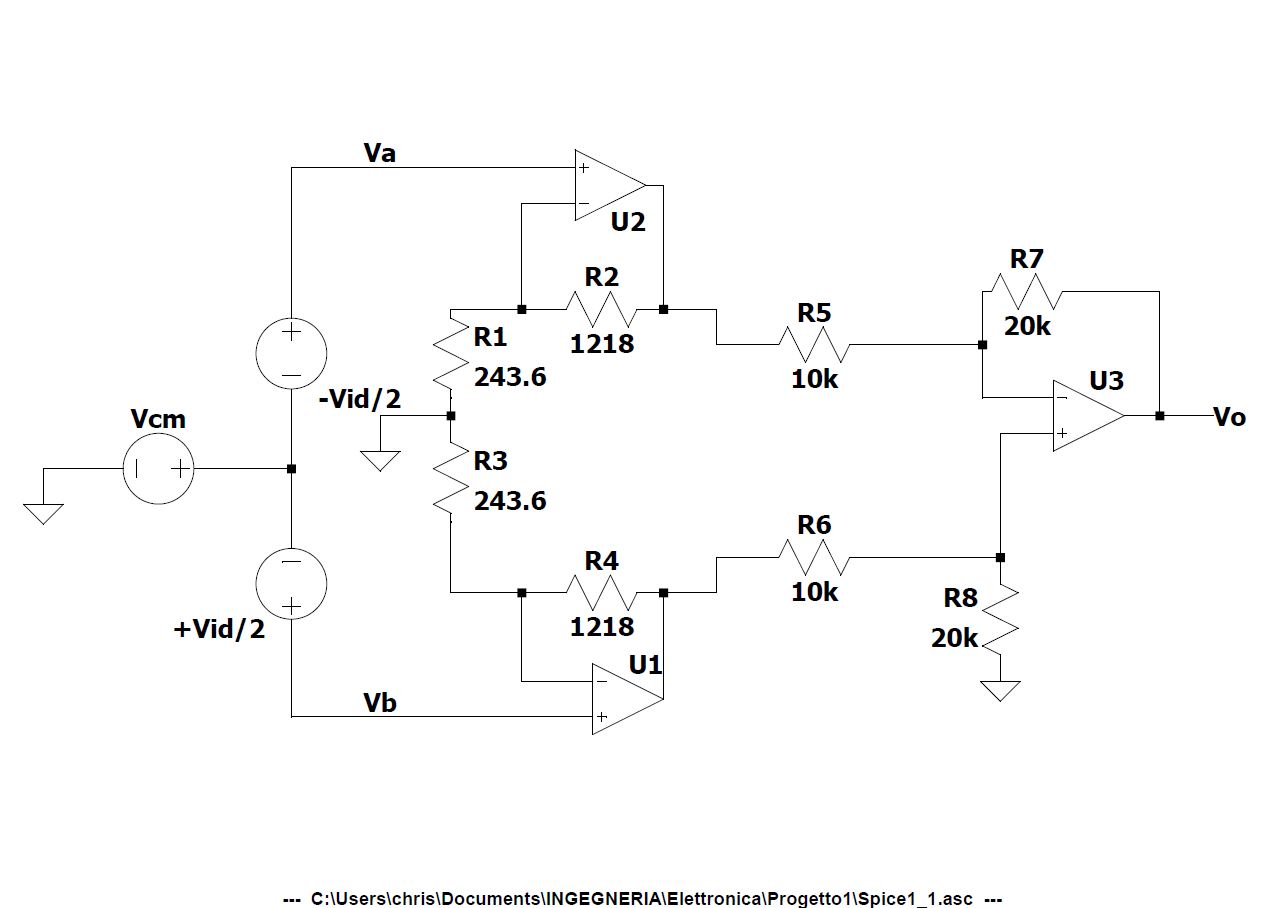
**PRIMA RELAZIONE SPICE**

Circuiti ad amplificatori operazionali

Fondamenti di Elettronica 21/22

Autore: Christian Marchiori matr. 1218317

Esercizio 1: amplificatori differenziali con operazionale



* 1. Assumere per R2 ed R4 un valore in Ohm pari al proprio numero di matricola diviso per mille (senza cifre decimali). Trovare il valore di R1=R3 corrispondente ad un guadagno in tensione del primo stadio pari a 6

Soluzione:

Assumiamo

Nel primo stadio ci sono due amplificatori non invertenti ideali in parallelo.

Il guadagno del primo stadio è:

Per ipotesi R2=R4 e R1=R3 quindi:

* 1. Trovare l’espressione del guadagno differenziale e di modo comune del secondo stadio in funzione di R5, R6, R7, R8 (non sostituire alle resistenze il loro valore numerico)

Soluzione:

Considerando e come ingressi del circuito

Sapendo che:

Per il principio di massa virtuale e per partitore di tensione

Avendo un amplificatore differenziale e

Quindi i guadagni comune e differenziale sono:

* 1. Trovare l’espressione del guadagno differenziale e di modo comune dell’amplificatore complessivo

Soluzione:

Possiamo partire dal punto 1.2 e quindi prendere e . Sapendo che e ottengo e

Sostituendo queste espressioni nell’equazione di Vo del punto 1.2 ottengo

Alternativamente calcolo il guadagno analizzando il circuito completo:

Consideriamo

Sapendo che:

Per il principio di massa virtuale e per partitore di tensione

Per partitori di tensione e

Sapendo che e

Quindi i guadagni comune e differenziale sono:

* 1. Ripetere il calcolo del guadagno differenziale e di modo comune complessivi dopo aver posto R7=R8=20 kohm e R5=R6=10 kohm

Soluzione:

* 1. Calcolare il guadagno differenziale e di modo comune complessivi dopo aver posto R7=22 kohm, R8=20 kohm e R5=R6=10 kohm

Soluzione:

* 1. Ricavare l’espressione del guadagno differenziale e di modo comune del circuito modificato come nella figura seguente, mantenendo R2 e R4 pari al valore definito al punto 1.1. La resistenza connessa tra i morsetti invertenti dei due amplificatori del primo stadio vale 2R1, dove R1 è il valore precedentemente definito al punto 1.1.

Soluzione:

Sapendo che:

Per il principio di massa virtuale e per partitore di tensione

Sapendo che e

Sapendo che e

Sostituisco, quindi, e

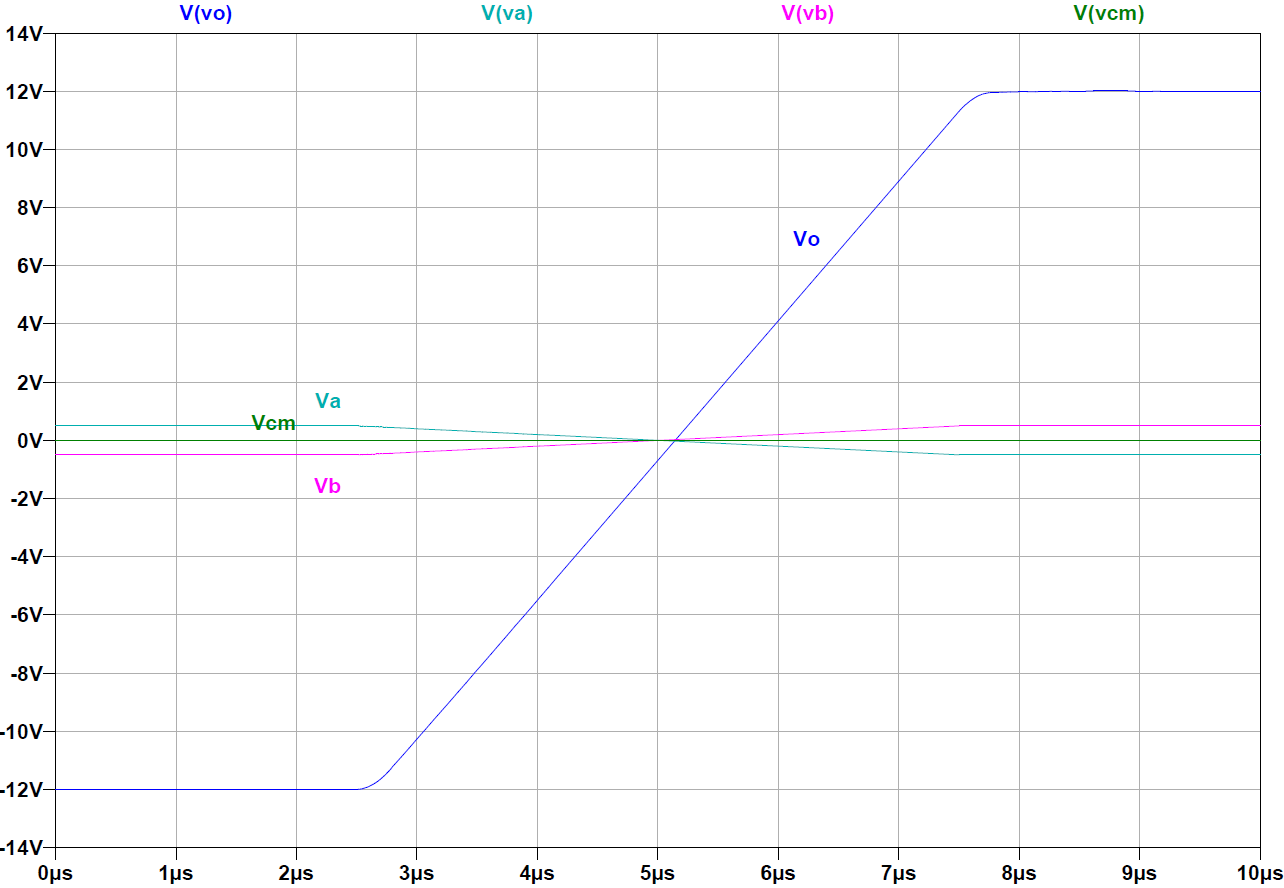
Quindi i guadagni comune e differenziale sono:

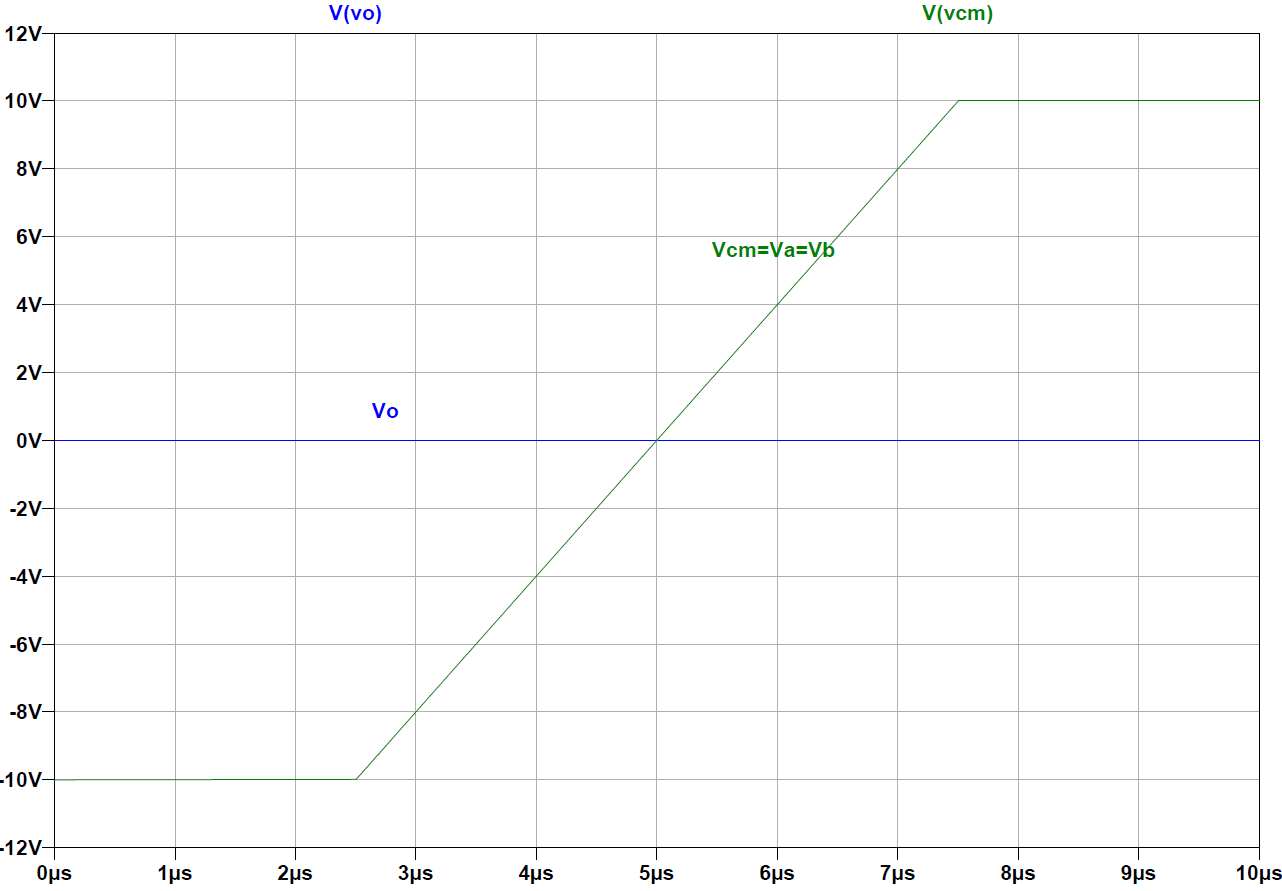
* 1. Calcolare il guadagno differenziale e di modo comune complessivi dopo aver posto R7=22 kohm, R8=20 kohm e R5=R6=10 kohm

Soluzione:

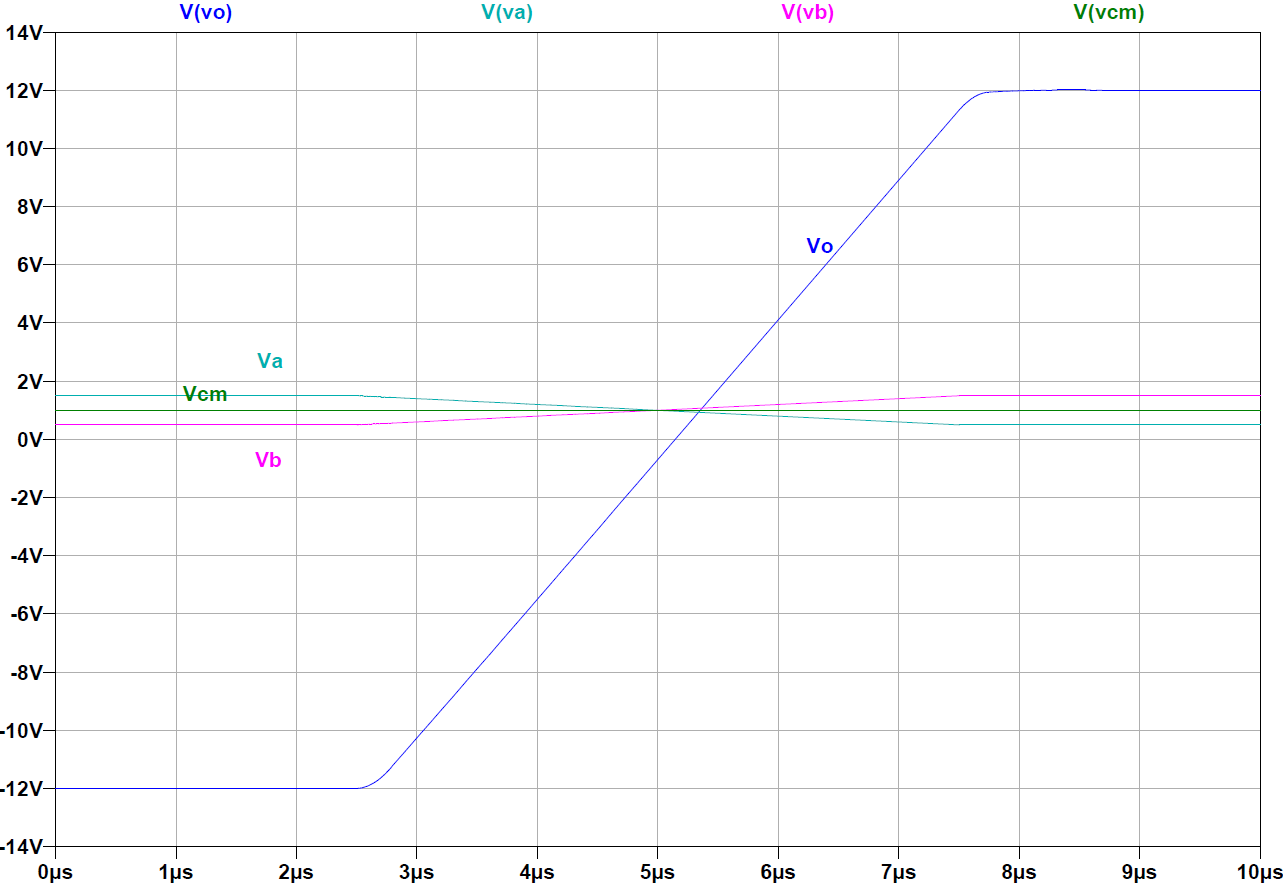
* 1. Prendendo come riferimento i circuiti definiti ai punti precedenti 1.5 e 1.7, simulare la tensione di uscita nei due amplificatori e riportare in un grafico la tensione di uscita in funzione della tensione di ingresso nei seguenti casi:

Di seguito i grafici in funzione del **tempo** con inizio e fine variazione della tensione in ingresso rispettivamente a 2.5µs e 7.5µs

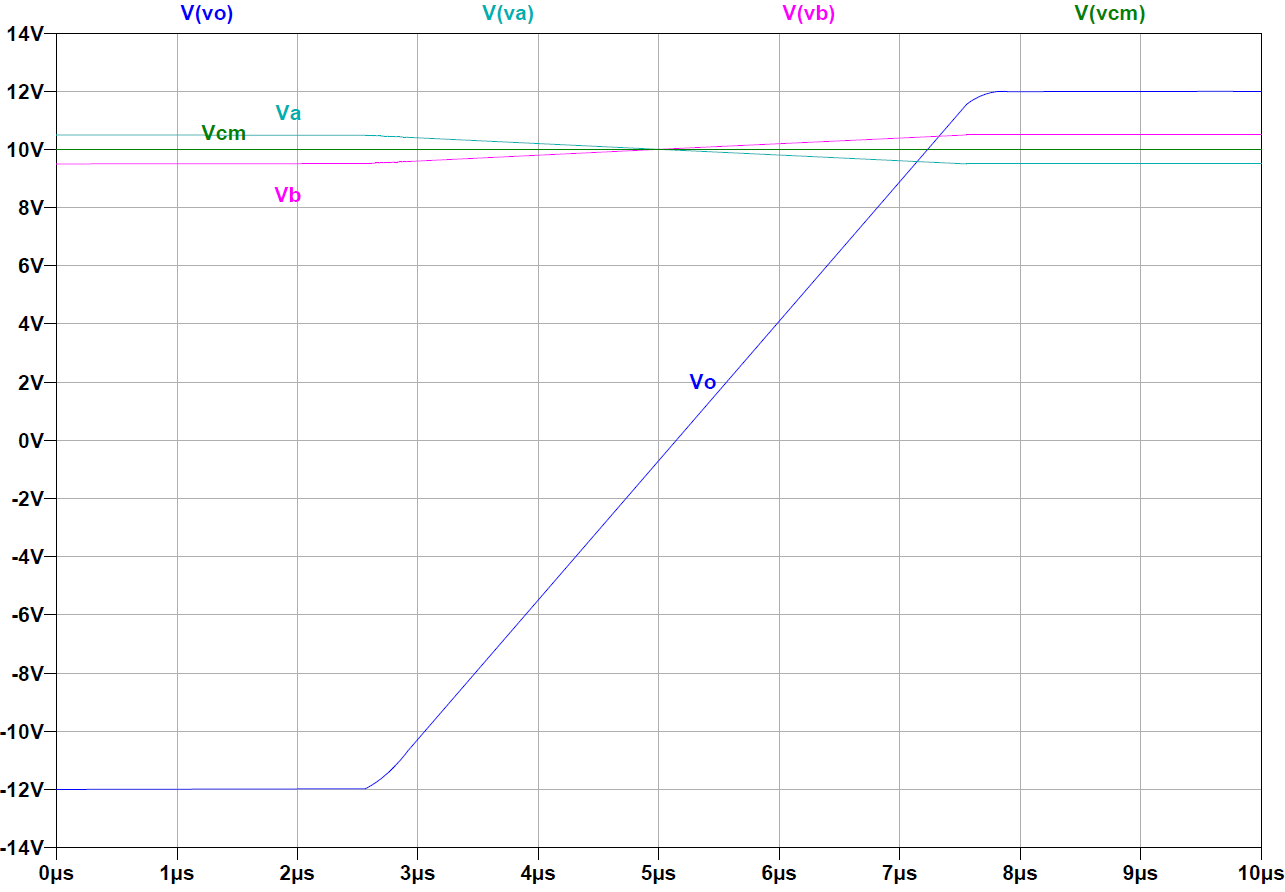
1.8.1

1.8.2

1.8.3

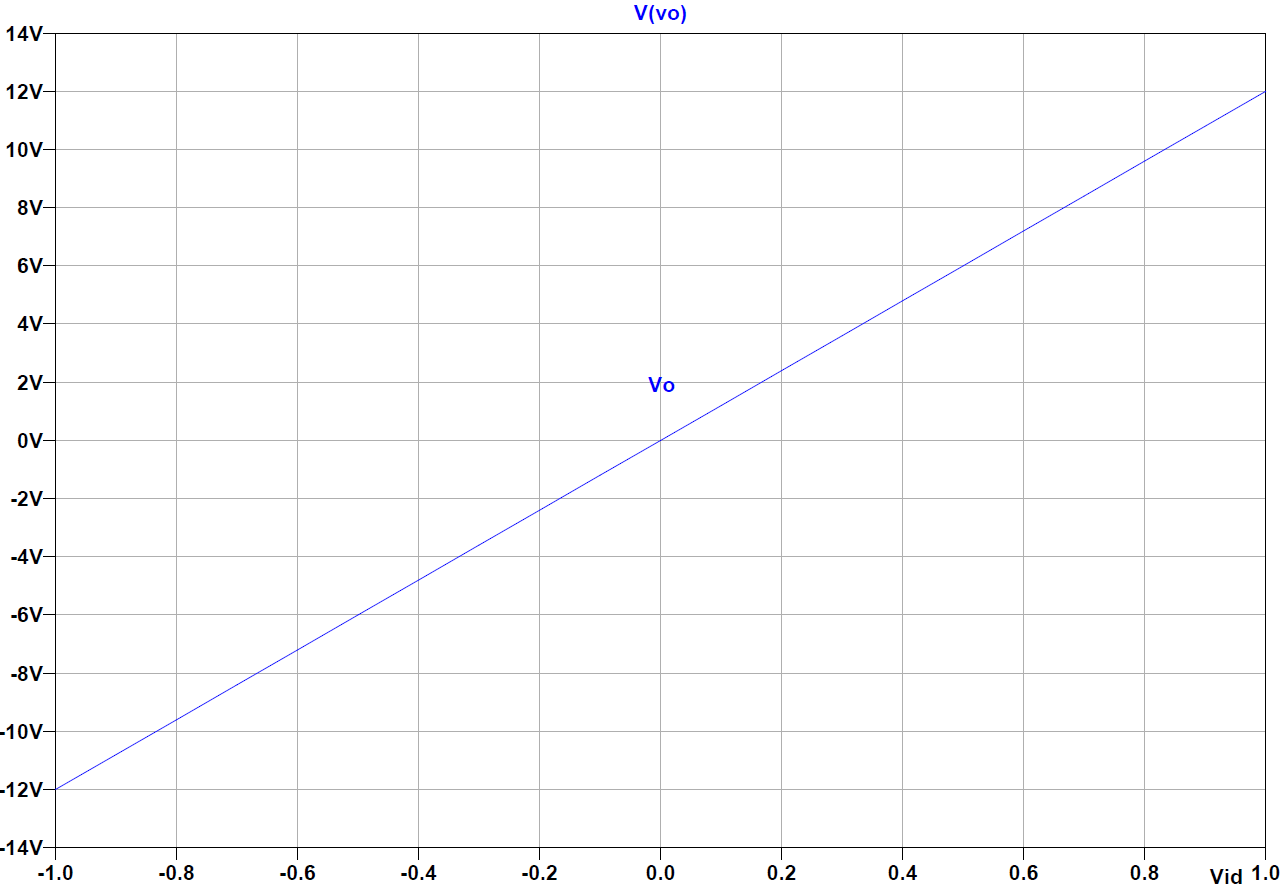


1.8.4

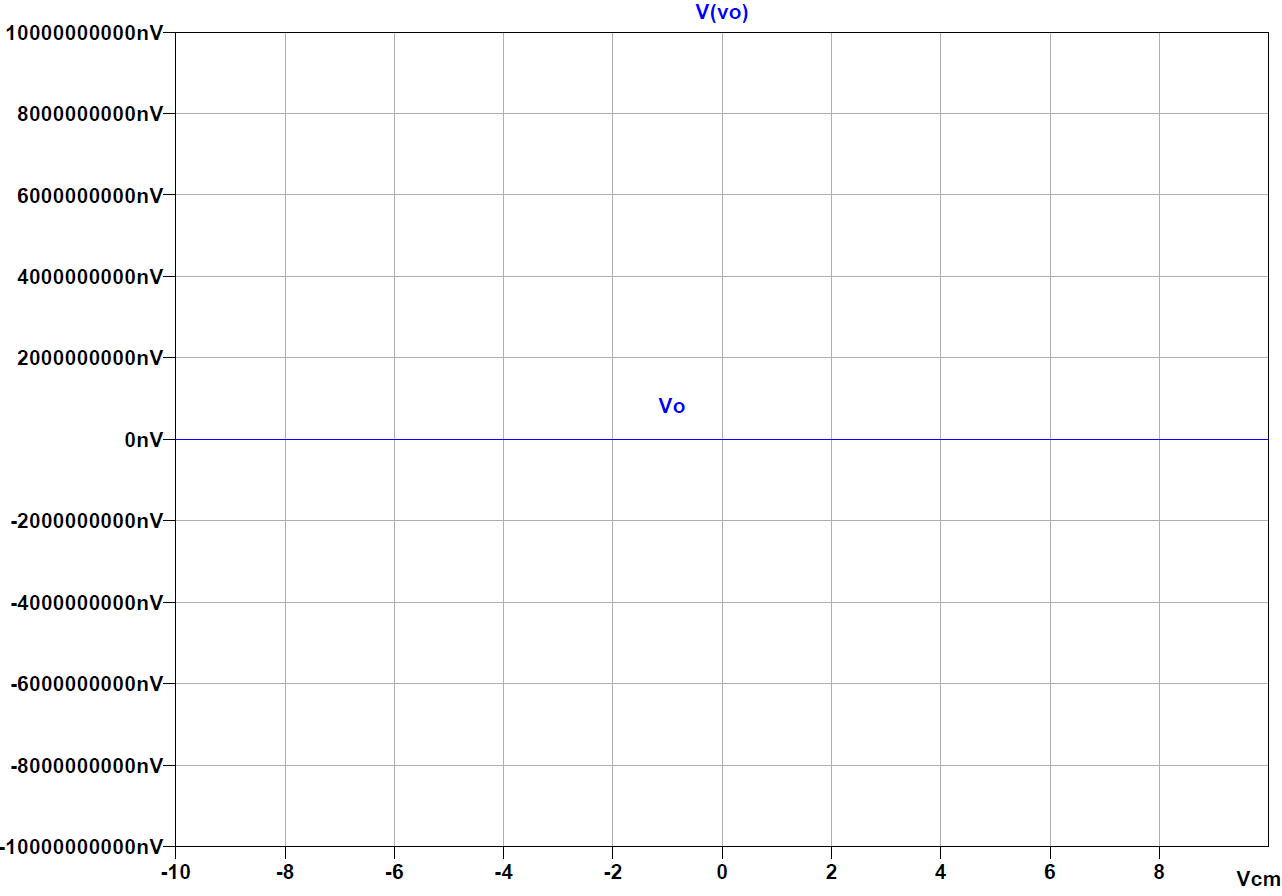


Di seguito i grafici in funzione della **tensione in ingresso** Vid o Vcm

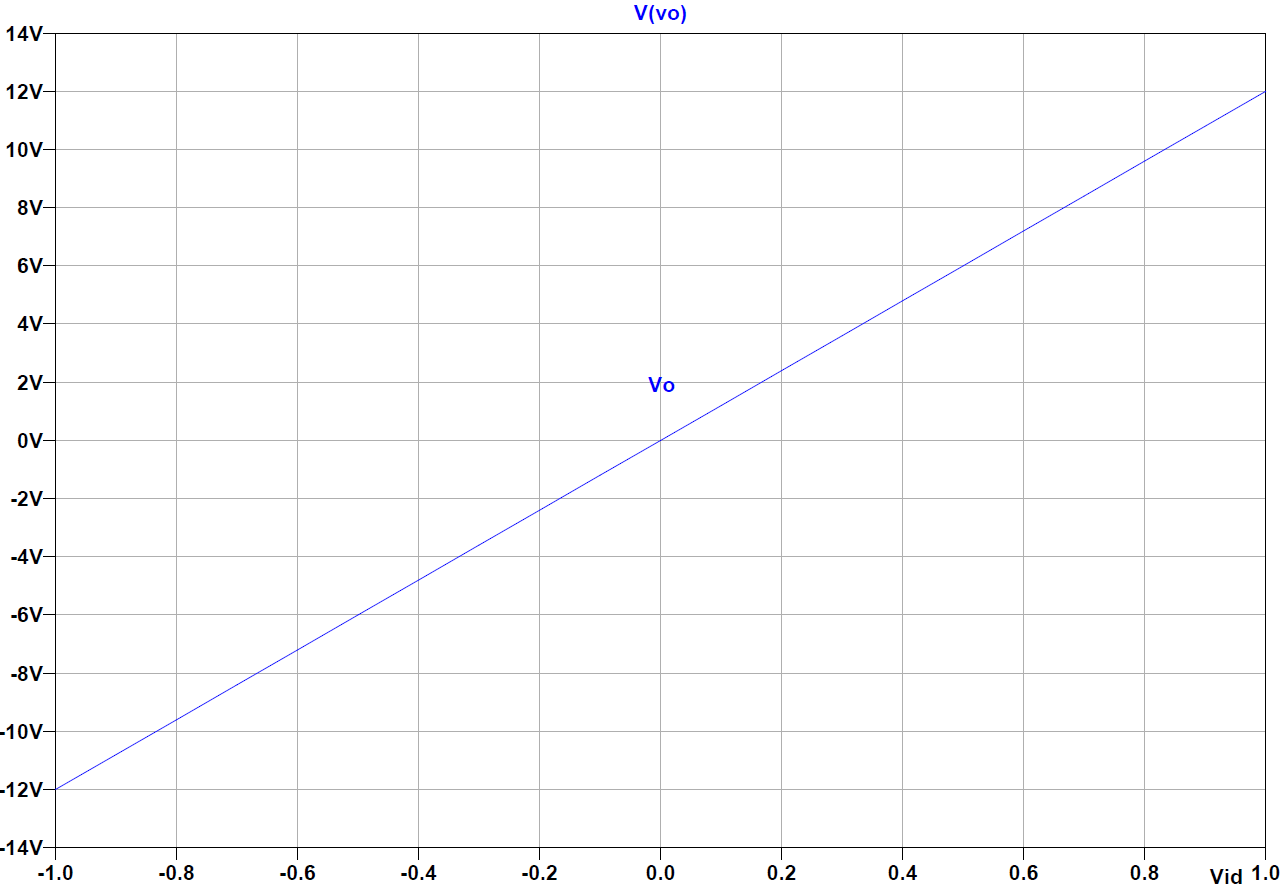
1.8.1



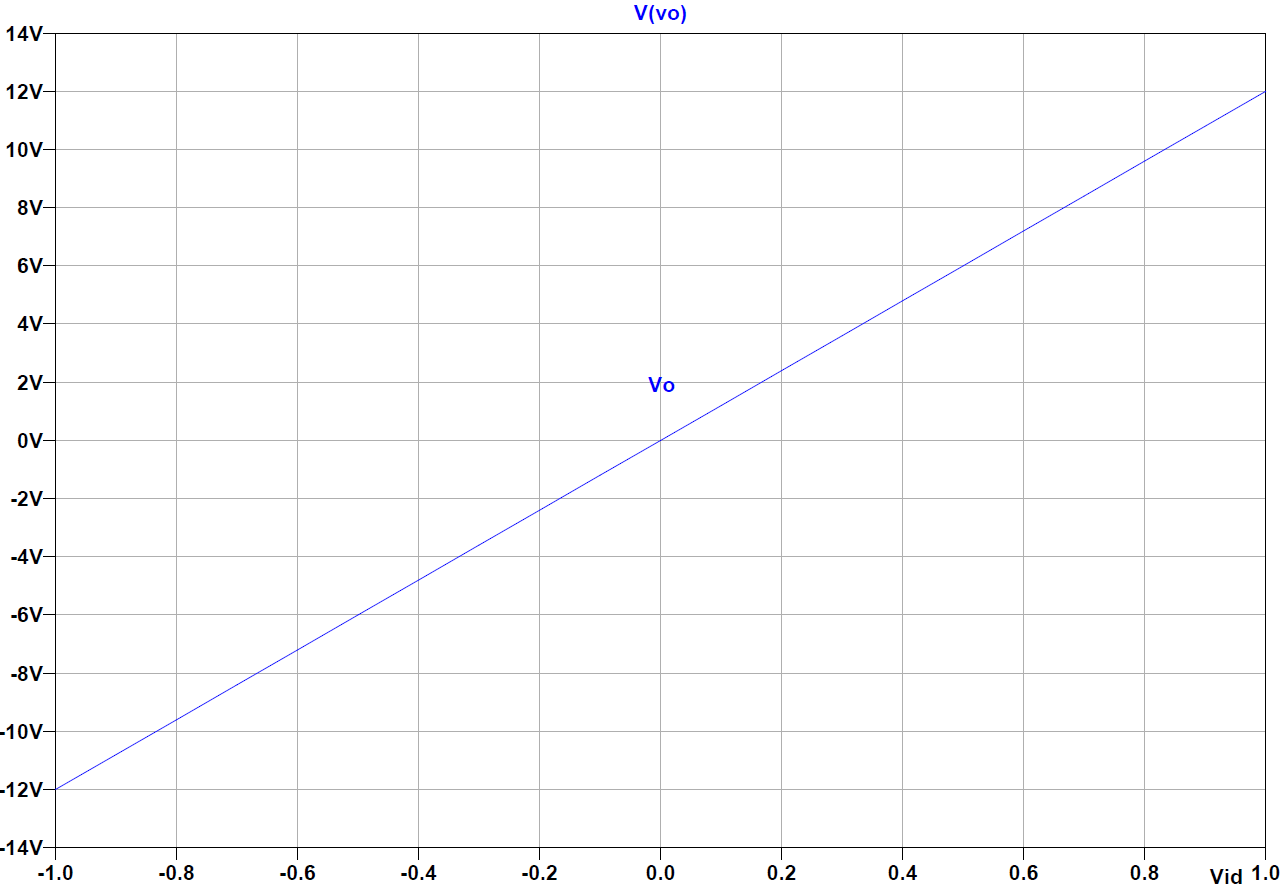
1.8.2



1.8.3



1.8.4



Netlist dell’esercizio 1:

**\* Schematico iniziale**

XU1 N006 Vb N005 opamp Aol=100K GBW=10Meg

XU3 N003 N004 Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

R1 N002 0 243.6

R2 N001 N002 1218

R3 0 N006 243.6

R4 N005 N006 1218

R5 N003 N001 10000

R6 N004 N005 10000

R7 Vo N003 20000

R8 0 N004 20000

V§+Vid/2 Vb Vcm

V§-Vid/2 Va Vcm

Vcm Vcm 0

XU2 N002 Va N001 opamp Aol=100K GBW=10Meg

.lib opamp.sub

.backanno

.end

**\* Punto 1.8.2 in funzione del tempo**

XU1 N006 Vb N005 opamp Aol=100K GBW=10Meg

XU3 N003 N004 Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

R1 N002 0 243.6

R2 N001 N002 1218

R3 0 N006 243.6

R4 N005 N006 1218

R5 N003 N001 10000

R6 N004 N005 10000

R7 Vo N003 20000

R8 0 N004 20000

V§+Vid/2 Vb Vcm 0

V§-Vid/2 Va Vcm 0

Vcm Vcm 0 PULSE(-10 +10 2.5u 5u 5u 5u 17.5u 1)

XU2 N002 Va N001 opamp Aol=100K GBW=10Meg

.lib opamp.sub

.tran 10u

.backanno

.end

**\* Punto 1.8.1 in funzione del tempo**

XU1 N006 Vb N005 opamp Aol=100K GBW=10Meg

XU3 N003 N004 Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

R1 N002 0 243.6

R2 N001 N002 1218

R3 0 N006 243.6

R4 N005 N006 1218

R5 N003 N001 10000

R6 N004 N005 10000

R7 Vo N003 20000

R8 0 N004 20000

V§+Vid/2 Vb Vcm PULSE(-0.5 +0.5 2.5u 5u 5u 5u 17.5u 1)

V§-Vid/2 Va Vcm PULSE(+0.5 -0.5 2.5u 5u 5u 5u 17.5u 1)

**\* Per i punti 1.8.3,1.8.4 basta sostituire il valore di Vcm con 1 e 10**

Vcm Vcm 0 0

XU2 N002 Va N001 opamp Aol=100K GBW=10Meg

.lib opamp.sub

.tran 10u

.backanno

.end

**\* Punto 1.8.1 in funzione della tensione in ingresso**

XU1 N006 Vb N005 opamp Aol=100K GBW=10Meg

XU3 N003 N004 Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

R1 N002 0 243.6

R2 N001 N002 1218

R3 0 N006 243.6

R4 N005 N006 1218

R5 N003 N001 10000

R6 N004 N005 10000

R7 Vo N003 20000

R8 0 N004 20000

V§+Vid/2 Vb Vcm {Vid/2}

V§-Vid/2 Va Vcm {-Vid/2}

**\* Per i punti 1.8.3,1.8.4 basta sostituire il valore di Vcm con 1 e 10**

Vcm Vcm 0 0

XU2 N002 Va N001 opamp Aol=100K GBW=10Meg

.step param Vid -1 1 0.1

.op

.lib opamp.sub

.backanno

.end

**\* Punto 1.8.2 in funzione della tensione in ingresso**

XU1 N006 Vb N005 opamp Aol=100K GBW=10Meg

XU3 N003 N004 Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

R1 N002 0 243.6

R2 N001 N002 1218

R3 0 N006 243.6

R4 N005 N006 1218

R5 N003 N001 10000

R6 N004 N005 10000

R7 Vo N003 20000

R8 0 N004 20000

V§+Vid/2 Vb Vcm 0

V§-Vid/2 Va Vcm 0

Vcm Vcm 0 {X}

XU2 N002 Va N001 opamp Aol=100K GBW=10Meg

.lib opamp.sub

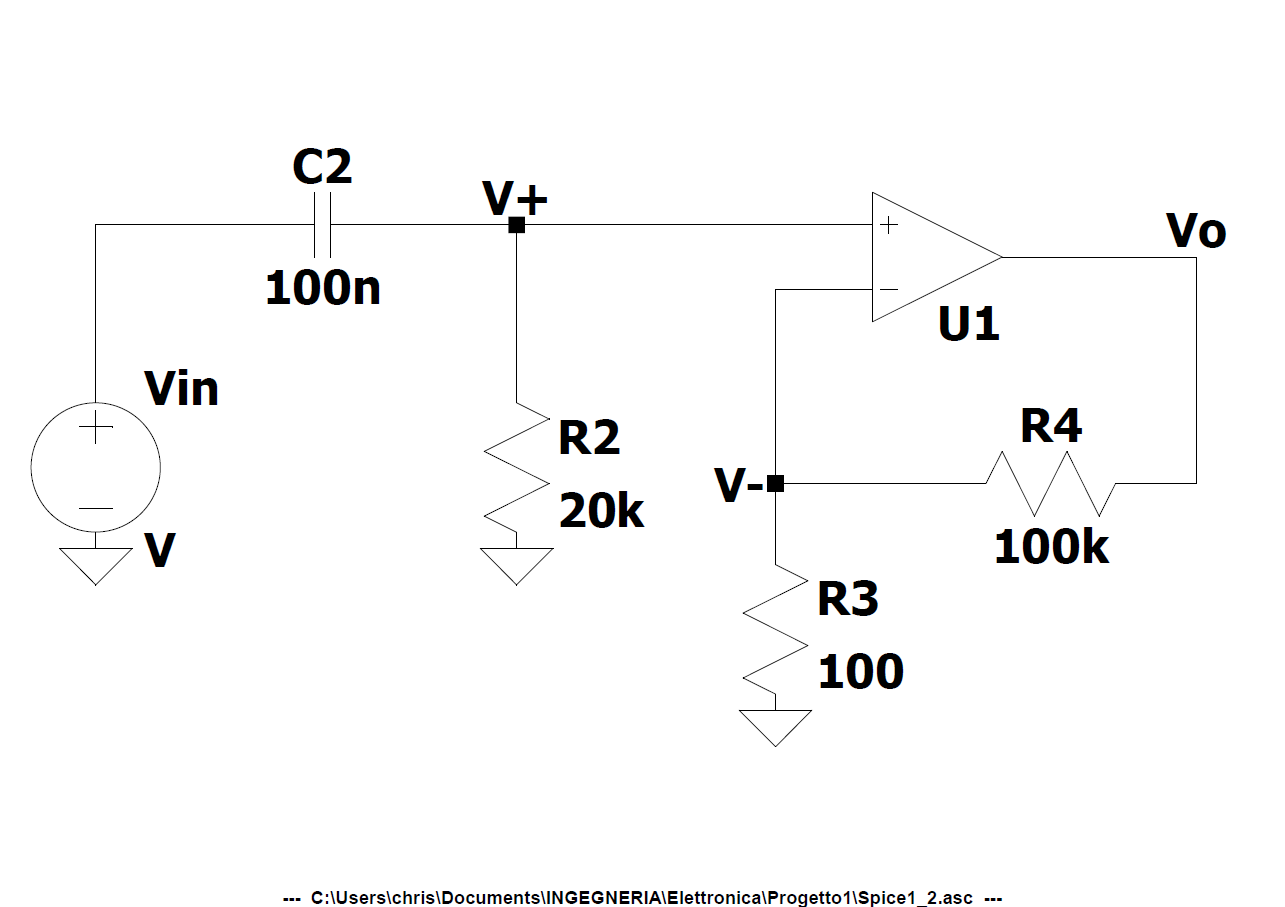
.op

.step param X -10 10 0.1

.backanno

.end

Esercizio 2: amplificatore in banda audio



2.1 Calcolare la frequenza di taglio inferiore e superiore del circuito, e tracciare il diagramma di Bode asintotico del guadagno

Soluzione:

Prendendo V+ come tensione di ingresso possiamo considerare il circuito come un amplificatore non invertente standard con retroazione.

Calcoliamo quindi V+ applicando il partitore di tensione:

Essendo la corrente del condensatore definita come applico la trasformata di Laplace

Quindi

V+ diventa

Definiamo

Definiamo:

Sapendo che

Consideriamo ora la risposta

Sapendo che la risposta di un amplificatore senza feedback è

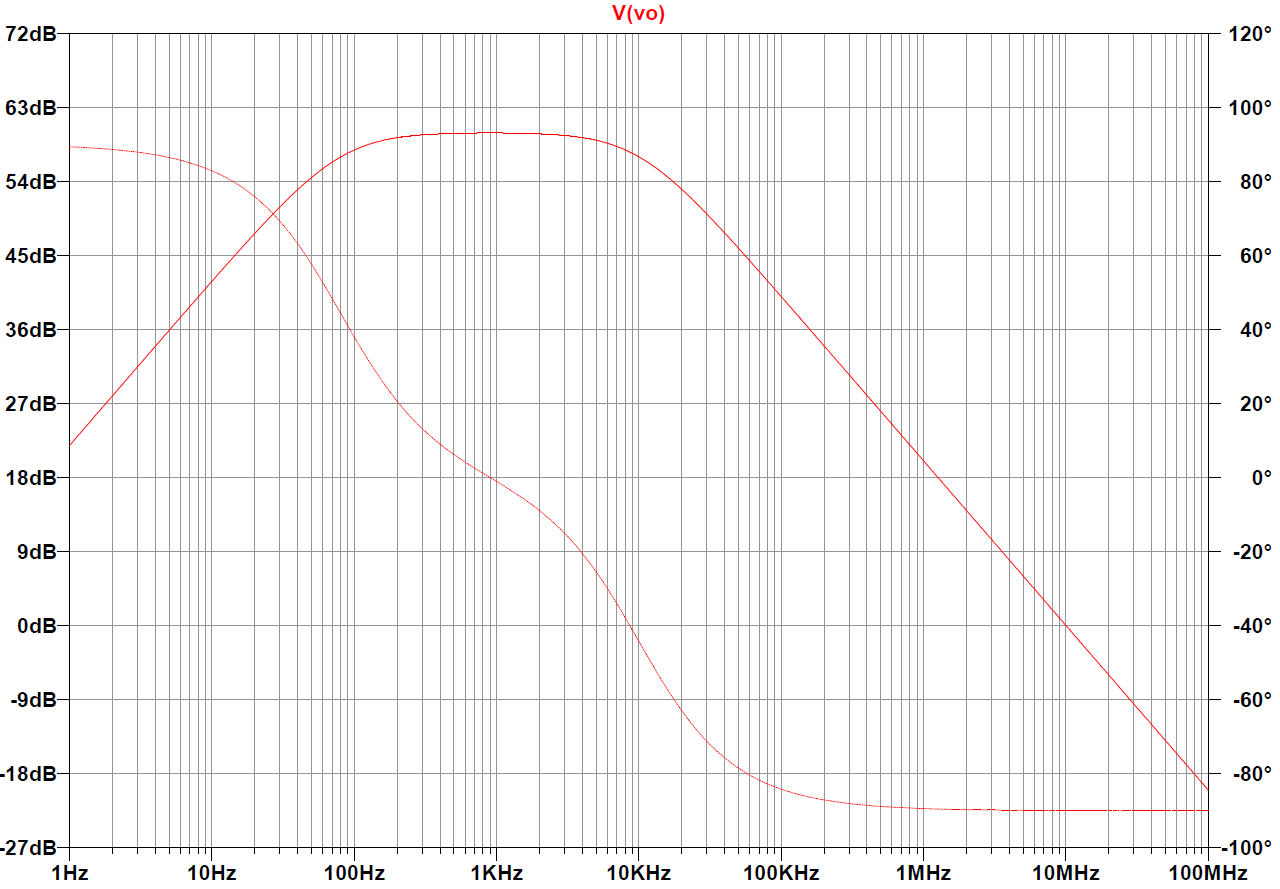
Con

Il diagramma di Bode diventa il seguente:



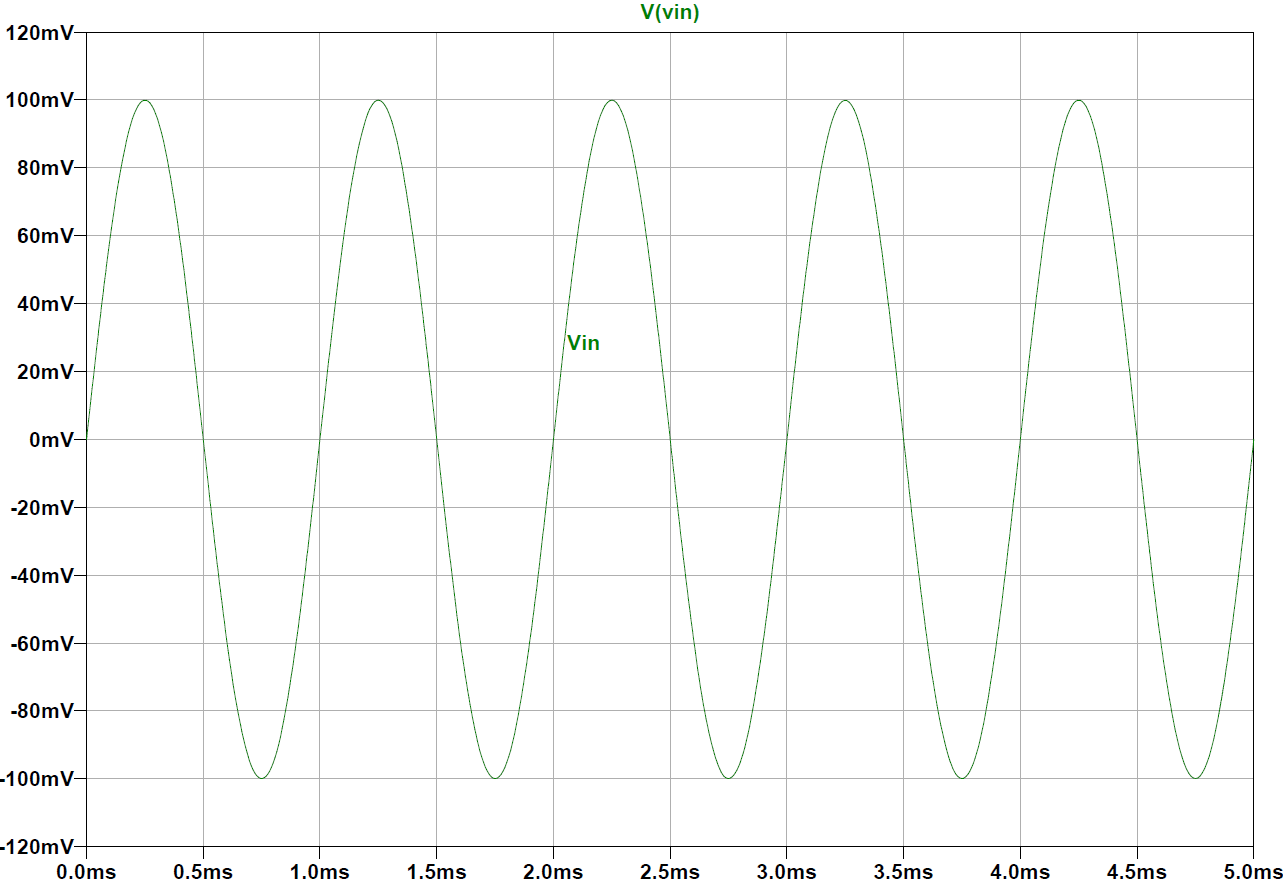
2.2 Simulare il diagramma di Bode con LTSPICE. Per la simulazione, utilizzare il modello standard della libreria di LTSpice, inserendo il comando “.lib opamp.sub”, scegliendo il modello “opamp” della directory “Opamps” come amplificatore operazionale. Selezionate l’amplificatore con il tasto destro e modificate i parametri del modello come indicato dal problema

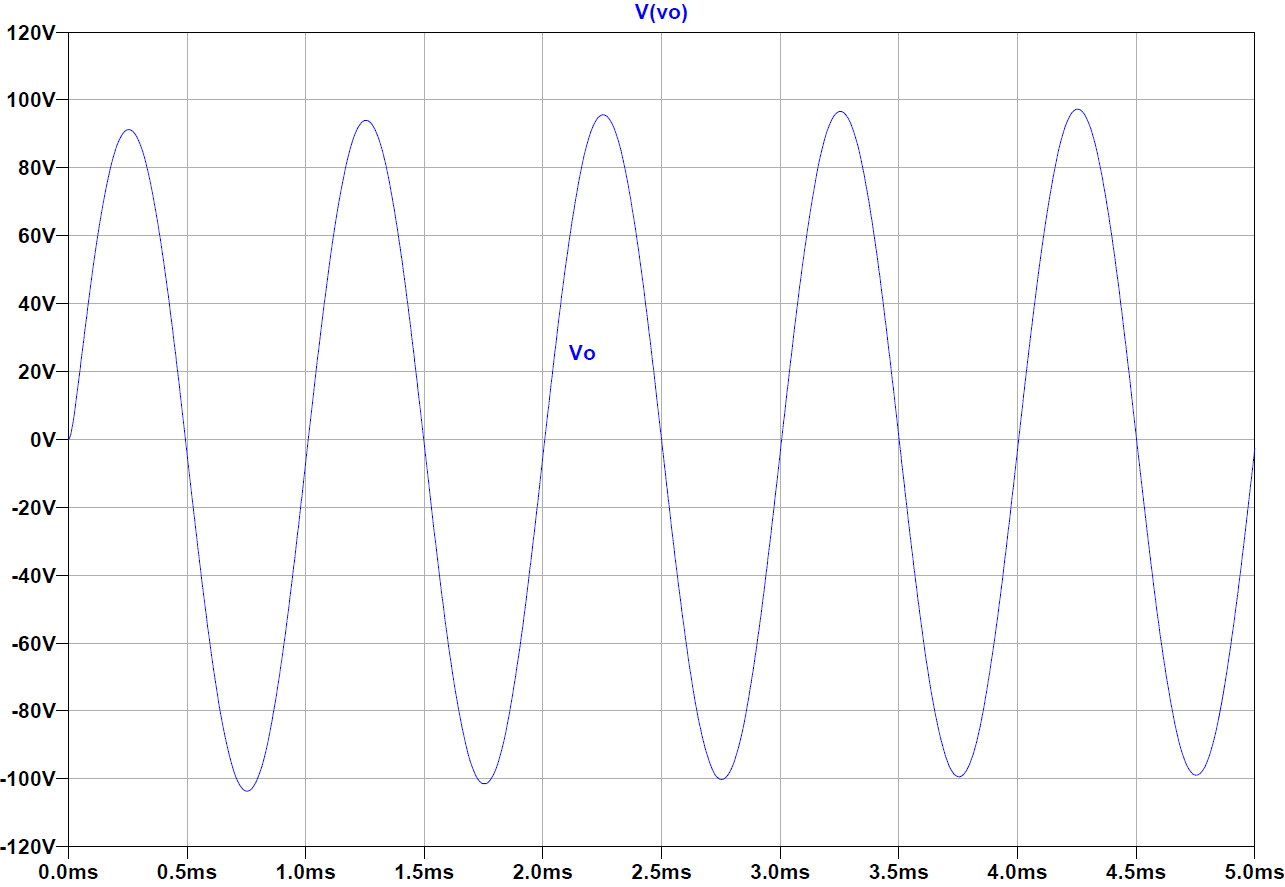
Soluzione:



2.3 Applicare un segnale sinusoidale tramite un generatore Vin, di ampiezza 100 mV e frequenza 1 kHz. Graficare su due piani xy separati, ma con la stessa scala temporale, 5 periodi della forma d’onda di Vin e di Vout

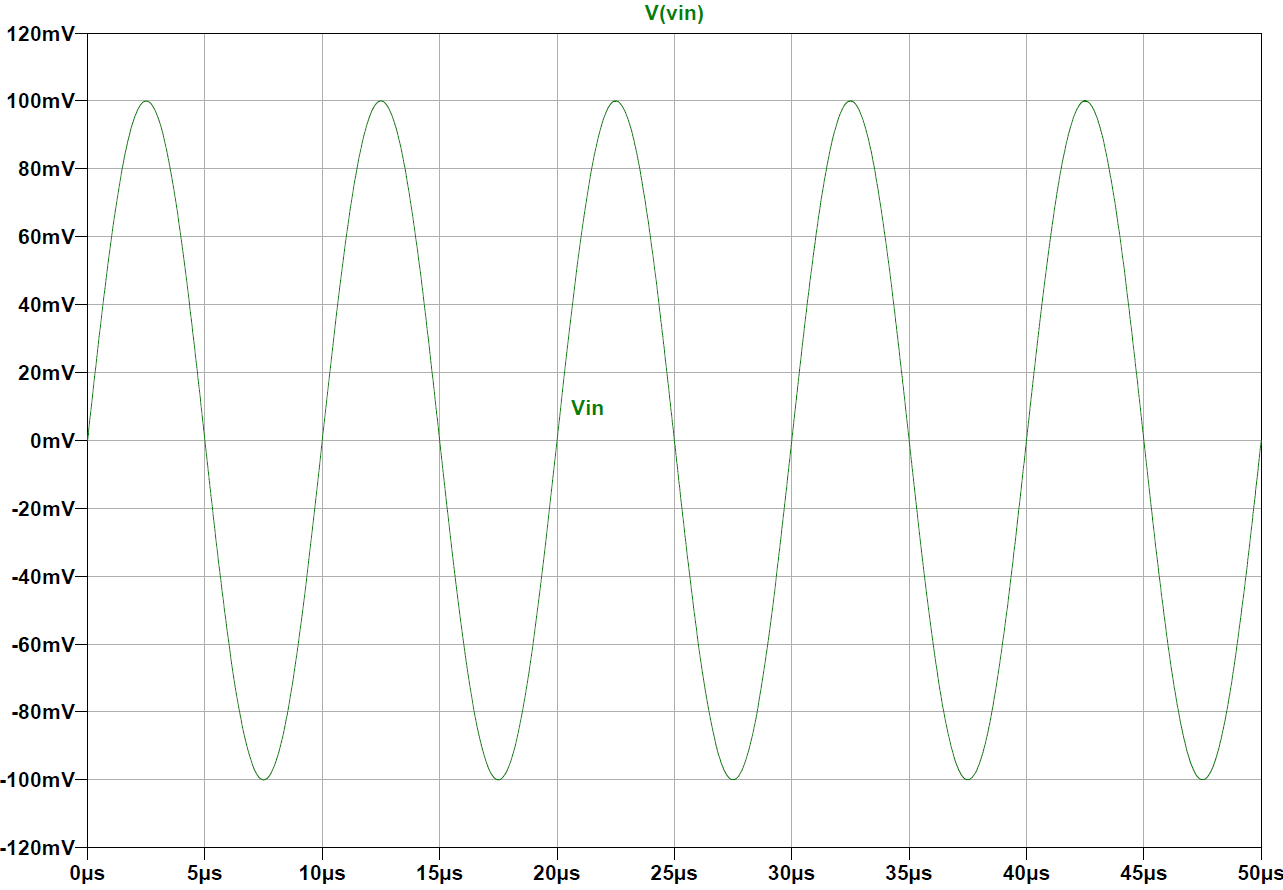
Soluzione:

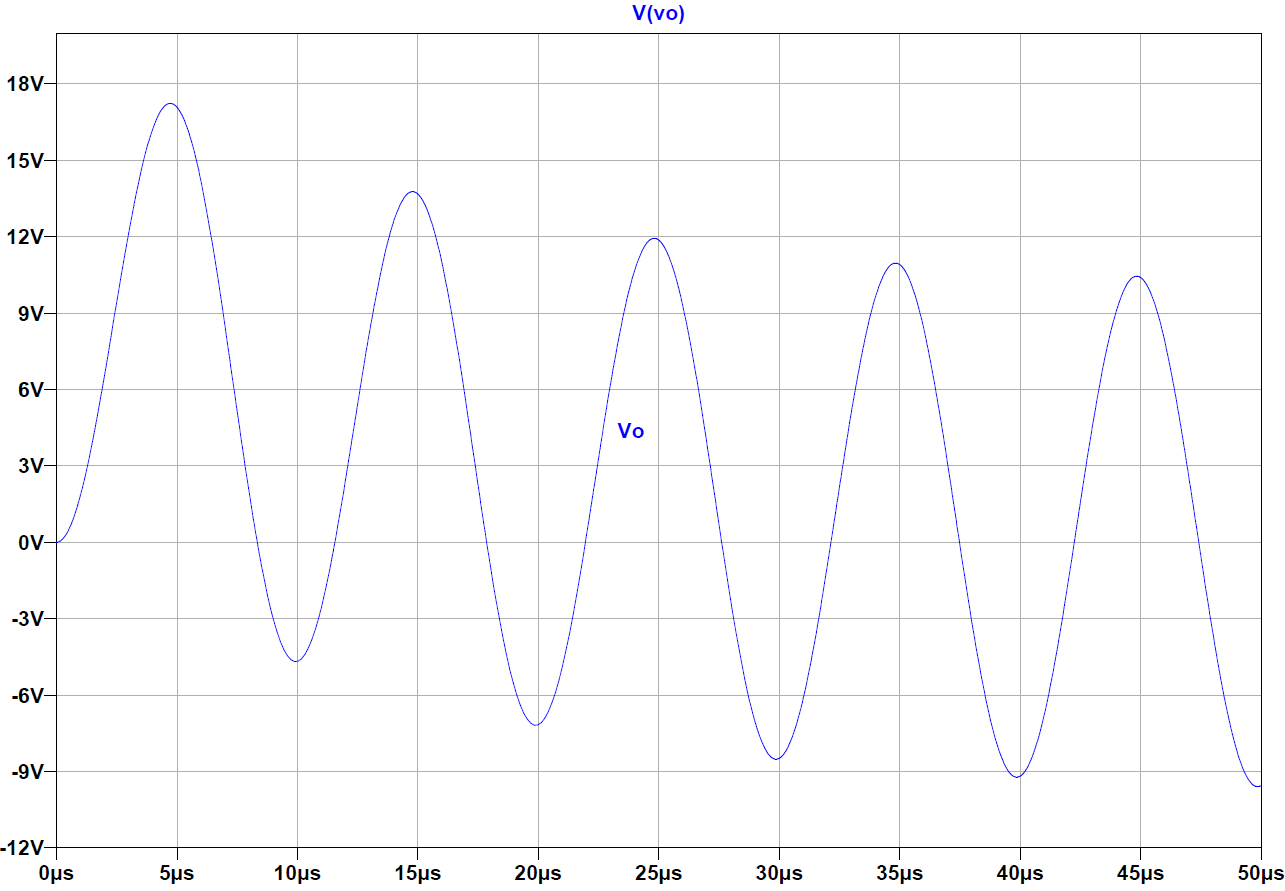




2.4 Applicare un segnale sinusoidale tramite un generatore Vin, di ampiezza 100 mV e frequenza 100 kHz. Graficare su due piani xy separati, ma con la stessa scala temporale, 5 periodi della forma d’onda di Vin e di Vout

Soluzione:





2.5 Commentare i risultati ottenuti ai punti precedenti

Soluzione:

Confrontando i grafici delle tensioni in ingresso e quelle di uscita si osserva immediatamente un aumento di voltaggio conferito dall’amplificatore operazionale.

* **Nel caso di ingresso sinusoidale con frequenza di 1kHz** abbiamo un amplificazione massima considerato che 1kHz è compreso tra la frequenza inferiore di 80Hz e quella superiore di 10090Hz. Osservando il diagramma di Bode al punto 2.2 si può notare che tra quelle frequenze c’è una guadagno a centro banda massimo.

Possiamo verificare che nei grafici del punto 2.3 abbiamo una tensione in ingresso massima di 100mV che se amplifichiamo di 991.08 otteniamo . Nel grafico della tensione in uscita riscontriamo che dopo 4.5ms, quando la sinusoide si è stabilizzata, il picco è a circa 100V.

* **Nel caso di ingresso sinusoidale con frequenza 100k**, invece, il guadagno non è più massimo. Il diagramma di Bode al punto 2.2 mostra che intorno a 100kHz il guadagno sta scendendo progressivamente.

Sapendo che sostituiamo s con

Il modulo di questo valore è

Trasformiamo in

Possiamo verificare che nei grafici del punto 2.4 abbiamo una tensione in ingresso massima di 100mV che se amplifichiamo di 100.5 otteniamo . Nel grafico della tensione in uscita riscontriamo che dopo 45µs, quando la sinusoide si è stabilizzata, il picco è a circa 10V.

In questi grafici si può notare inoltre che l’uscita non ha media nulla. Nel primo caso l’onda sinusoidale viene traslata esponenzialmente verso un guadagno più alto invece nel secondo caso verso un guadagno più basso.

Questo effetto è causato, nel primo caso, dalla presenza del condensatore che ha un comportamento esponenziale nell’intervallo di carica.

Nel secondo caso, invece, l’effetto è probabilmente causato dall’alta frequenza della tensione in ingresso. Se si osserva il diagramma di Bode al punto 2.2 è possibile notare che la fase alla frequenza di 100kHz è a circa -90°. Questo significa che l’uscita sarà sfasata di -90° rispetto all’ingresso. A tempo 0µs, quindi, Vo parte con tensione minima a 0V, di conseguenza la curva è inizialmente traslata verso tensioni maggiori e con il tempo si stabilizza.

2.6 Modificare il circuito in modo che il guadagno sia compreso in una fascia di +/-3dB tra 10Hz e 25kHz

Soluzione:

Per avere un guadagno compreso in una fascia di ±3dB devo avere un guadagno circa costante.

In questo caso il guadagno rimane circa costante tra le due frequenze di taglio che sono 80hz e 10090hz.

Di conseguenza basta spostare la frequenza di taglio inferiore a 10hz e quella superiore a 25khz.

Spostiamo la **frequenza di taglio inferiore**:

Posso modificare oppure modificare

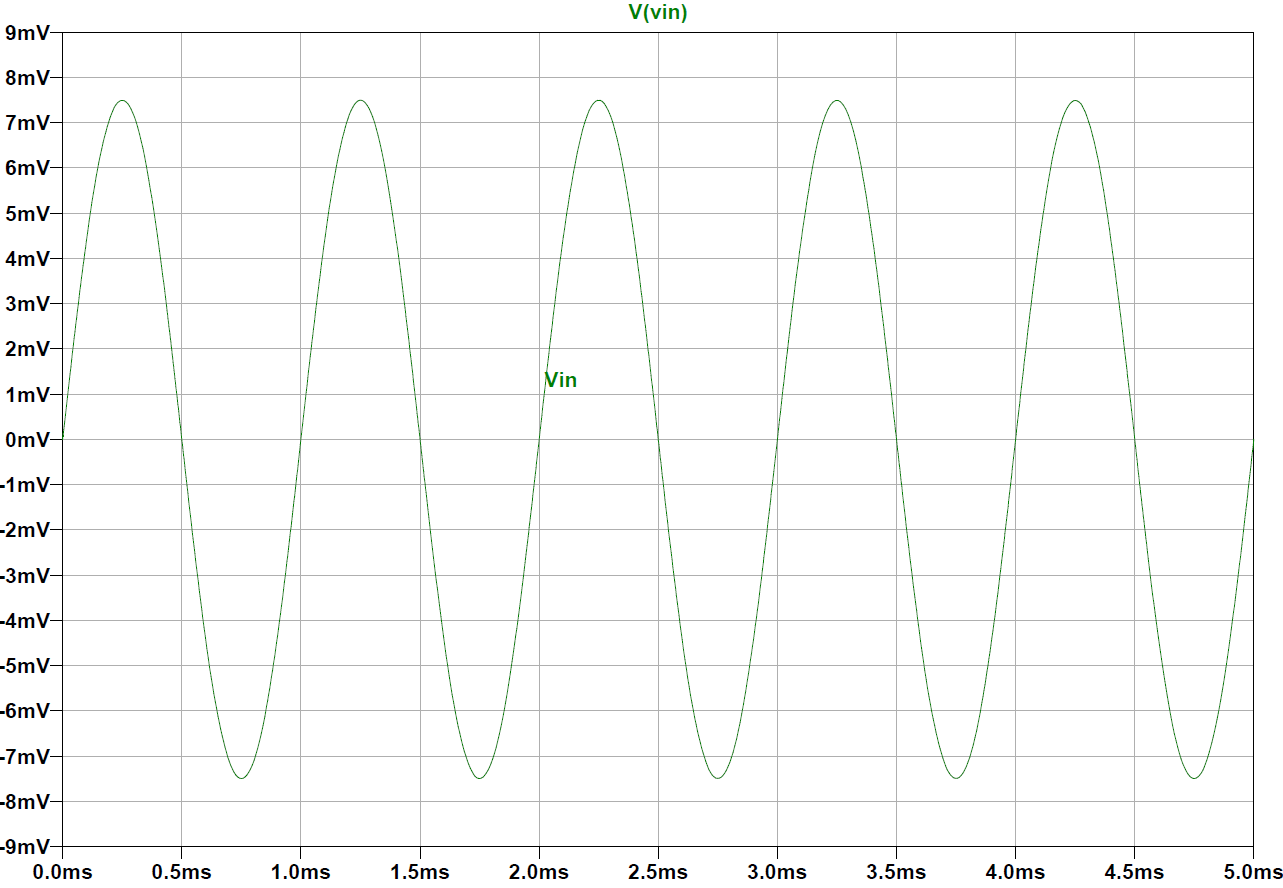
Spostiamo la **frequenza di taglio superiore**:

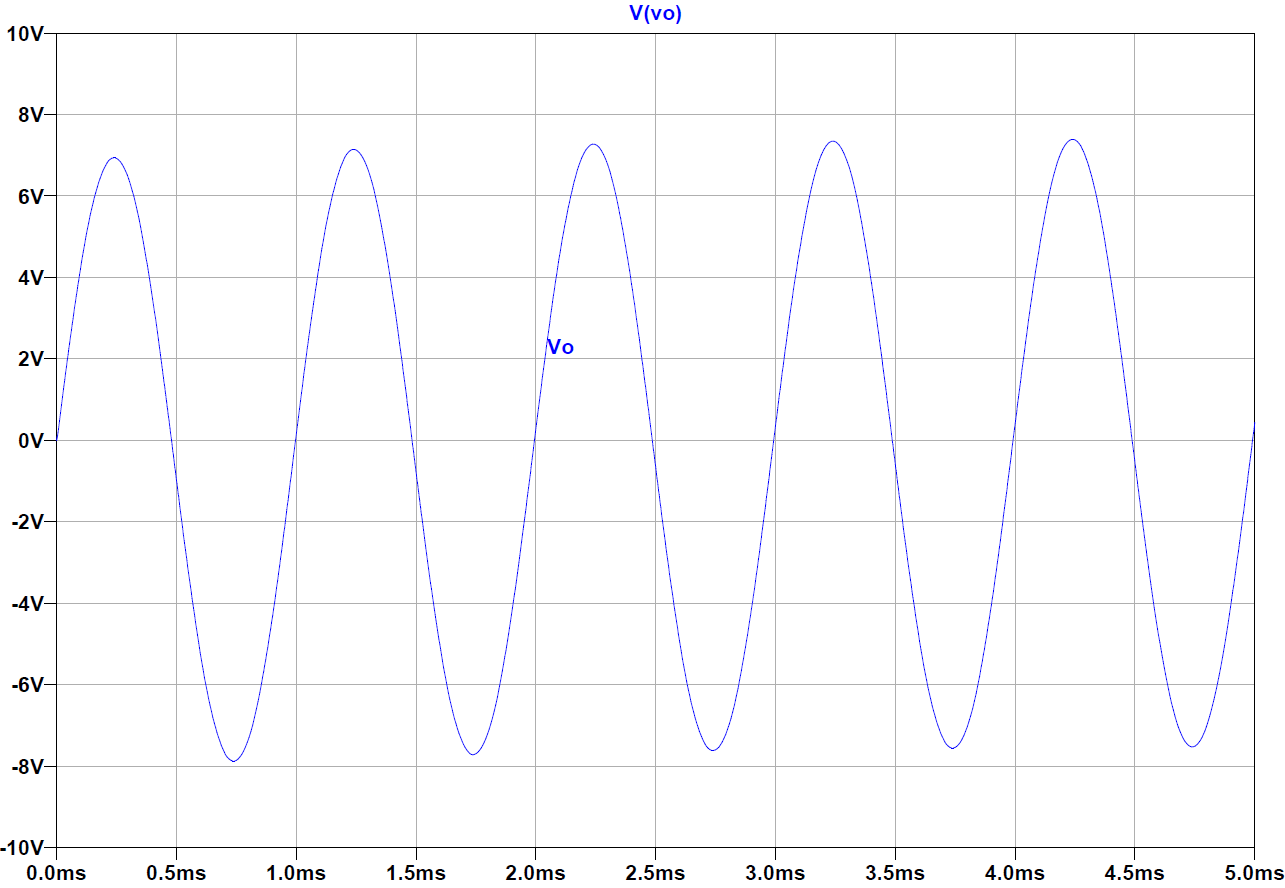
Posso modificare oppure

2.7.1 Sostituire l’amplificatore operazionale con il modello commerciale LT1028; applicare l’alimentazione duale con VCC= +10V e VEE =-10V, ripetere il punto 2.3. Ridurre l’ampiezza del segnale di ingresso in modo da evitare fenomeni di clipping.

Soluzione:

Applicando in ingresso al massimo un segnale con ampiezza di 7.5mV possiamo evitare fenomeni di clipping.

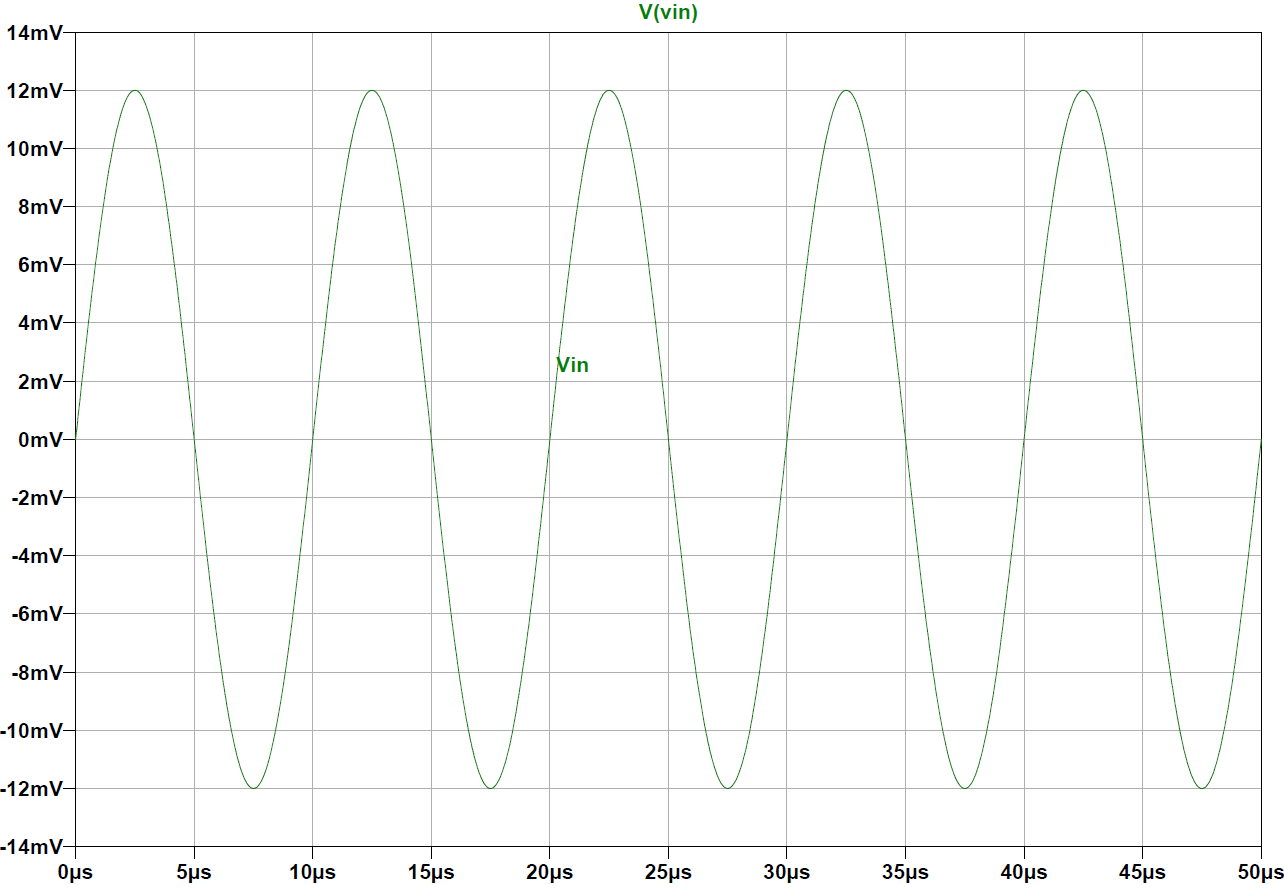


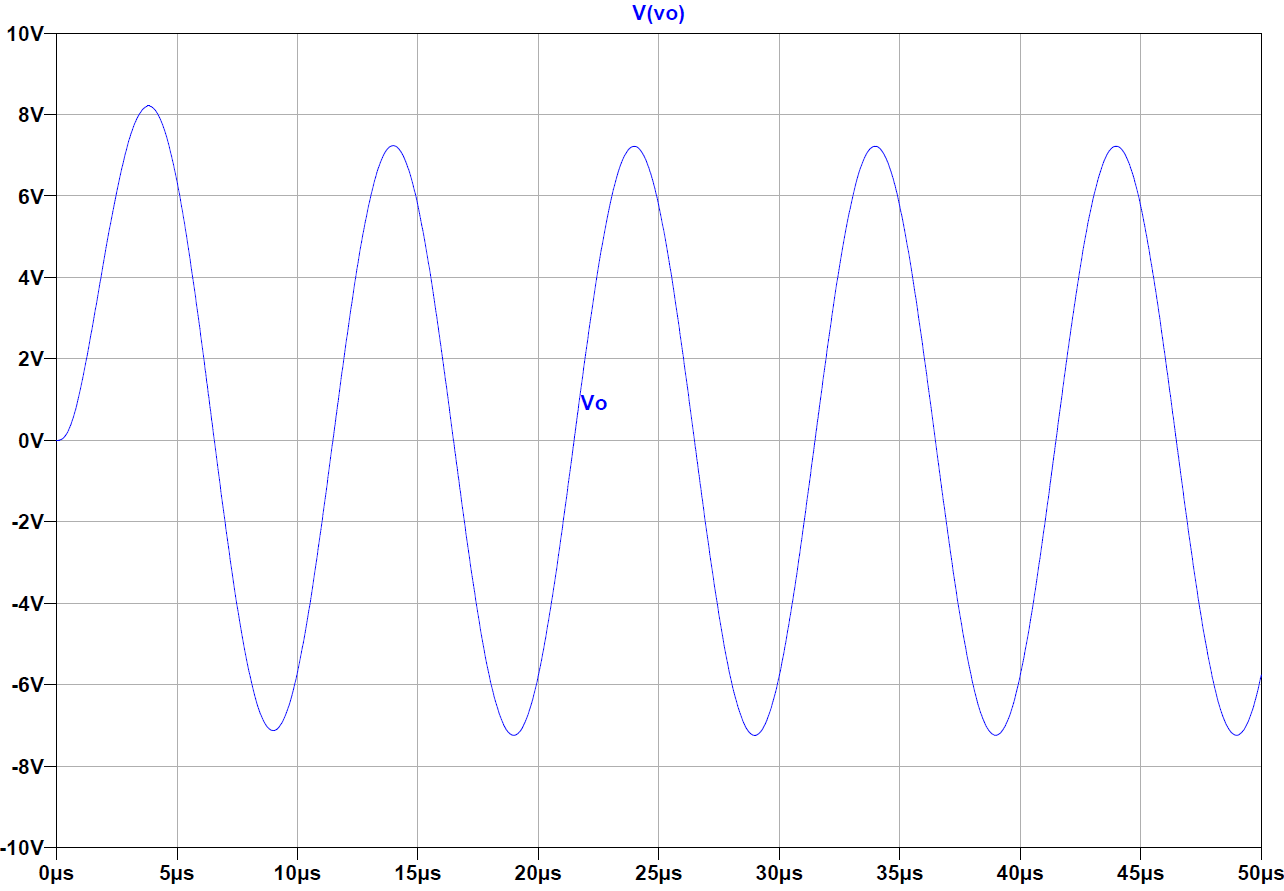


2.7.2 Ripetere anche per il punto 2.4

Soluzione:

Applicando in ingresso al massimo un segnale con ampiezza di 12mV possiamo evitare fenomeni di clipping.





Netlist esercizio 2:

**\* Punto 2.2**

XU1 V- V+ Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

C2 V+ Vin 100n

Vin Vin 0 AC 1

R2 V+ 0 20k

R3 V- 0 100

R4 Vo V- 100k

.ac dec 20 1 100MEG

.lib opamp.sub

.backanno

.end

**\* Schematico iniziale**

XU1 V- V+ Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

C2 V+ Vin 100n

Vin Vin 0 V

R2 V+ 0 20k

R3 V- 0 100

R4 Vo V- 100k

.lib opamp.sub

.backanno

.end

**\* Punto 2.4**

XU1 V- V+ Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

C2 V+ Vin 100n

Vin Vin 0 SINE(0 100m 100k)

R2 V+ 0 20k

R3 V- 0 100

R4 Vo V- 100k

.lib opamp.sub

.tran 50u

.backanno

.end

**\* Punto 2.3**

XU1 V- V+ Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

C2 V+ Vin 100n

Vin Vin 0 SINE(0 100m 1k)

R2 V+ 0 20k

R3 V- 0 100

R4 Vo V- 100k

.lib opamp.sub

.tran 5m

.backanno

.end

**\* Punto 2.7.1**

C2 V+ Vin 100n

Vin Vin 0 SINE(0 7.5m 1k)

R2 V+ 0 20k

R3 V- 0 100

R4 Vo V- 100k

XU2 V+ V- N002 N001 Vo LT1028

Vcc N001 0 -10

Vee N002 0 10

.tran 5m

.lib opamp.sub

.lib LTC.lib

.backanno

.end

**\* Punto 2.7.2**

C2 V+ Vin 100n

Vin Vin 0 SINE(0 12m 100k)

R2 V+ 0 20k

R3 V- 0 100

R4 Vo V- 100k

XU2 V+ V- N002 N001 Vo LT1028

Vcc N001 0 -10

Vee N002 0 10

.tran 50u

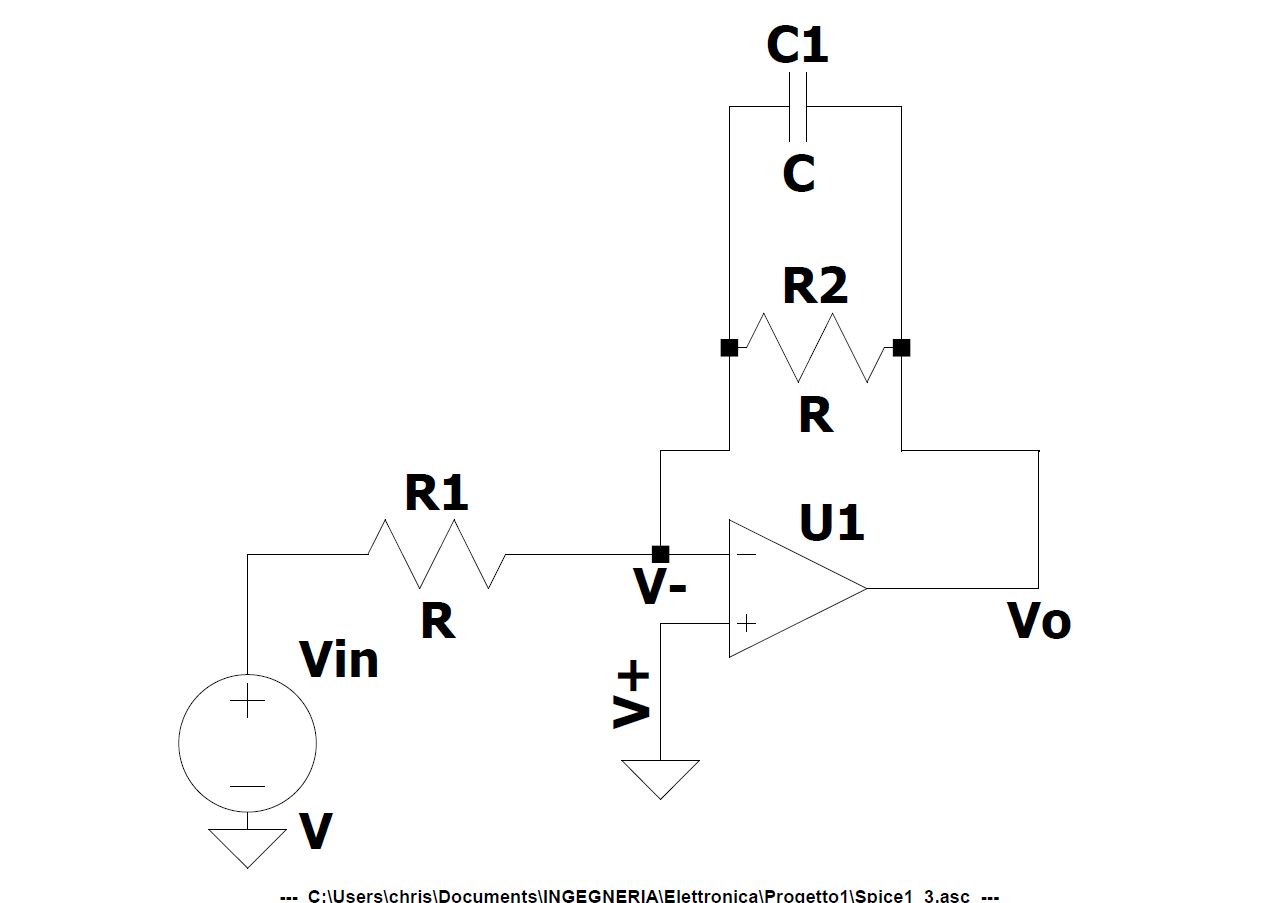
.lib opamp.sub

.lib LTC.lib

.backanno

.end

Esercizio 3: filtro passa alto con guadagno



3.1 Scrivere l’espressione della funzione di trasferimento Vo(s)/Vin(s) del circuito

Soluzione:

Possiamo considerare il feedback come un condensatore e un resistore in parallelo, quindi:

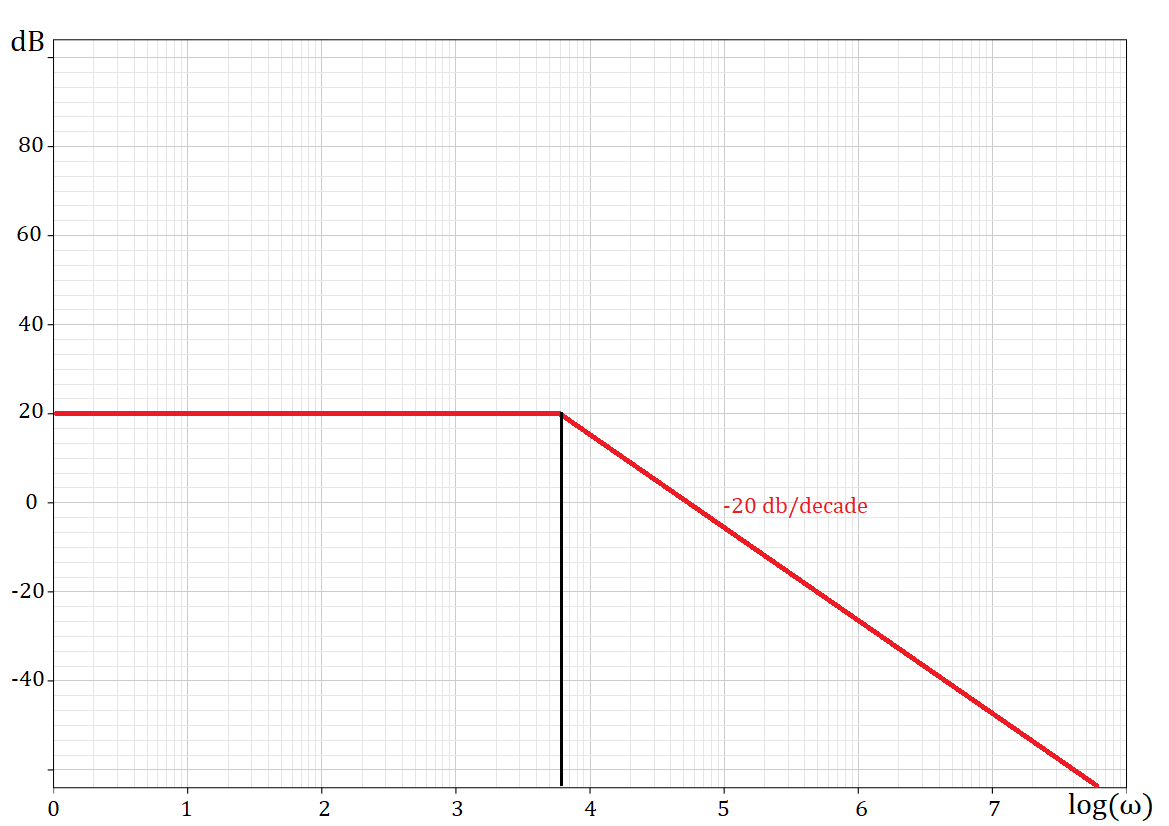
Il circuito diventa, quindi, un semplice amplificatore invertente. Il guadagno di un amplificatore invertente è:

Quindi:

Con

3.2 Scrivere l’espressione del guadagno a centro banda e della frequenza di taglio e disegnare il diagramma di Bode asintotico del guadagno

Soluzione:



3.3 Porre R1 pari al proprio numero di matricola diviso 100. Dimensionare R2 e C2 in modo da ottenere una frequenza di taglio di 1 kHz con un guadagno in continua di 20 dB.

Soluzione:

Assumiamo

a

3.4 Quanto vale la resistenza di ingresso?

Soluzione:

Sapendo che la resistenza di ingresso è data da

Assumendo che la corrente va da Vin verso VO

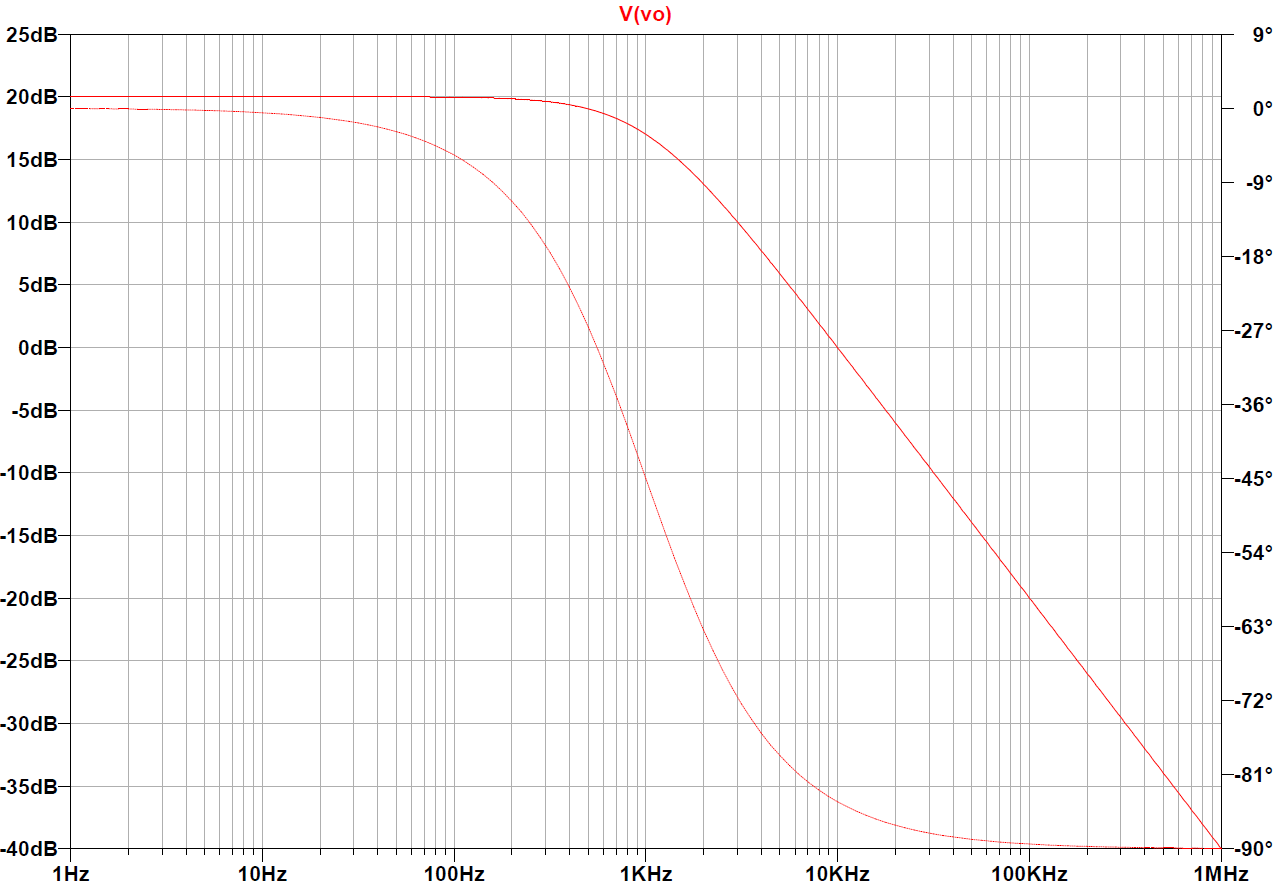
3.5 A quale frequenza il guadagno dell’amplificatore diventa unitario?

Soluzione:

Sostituendo s con

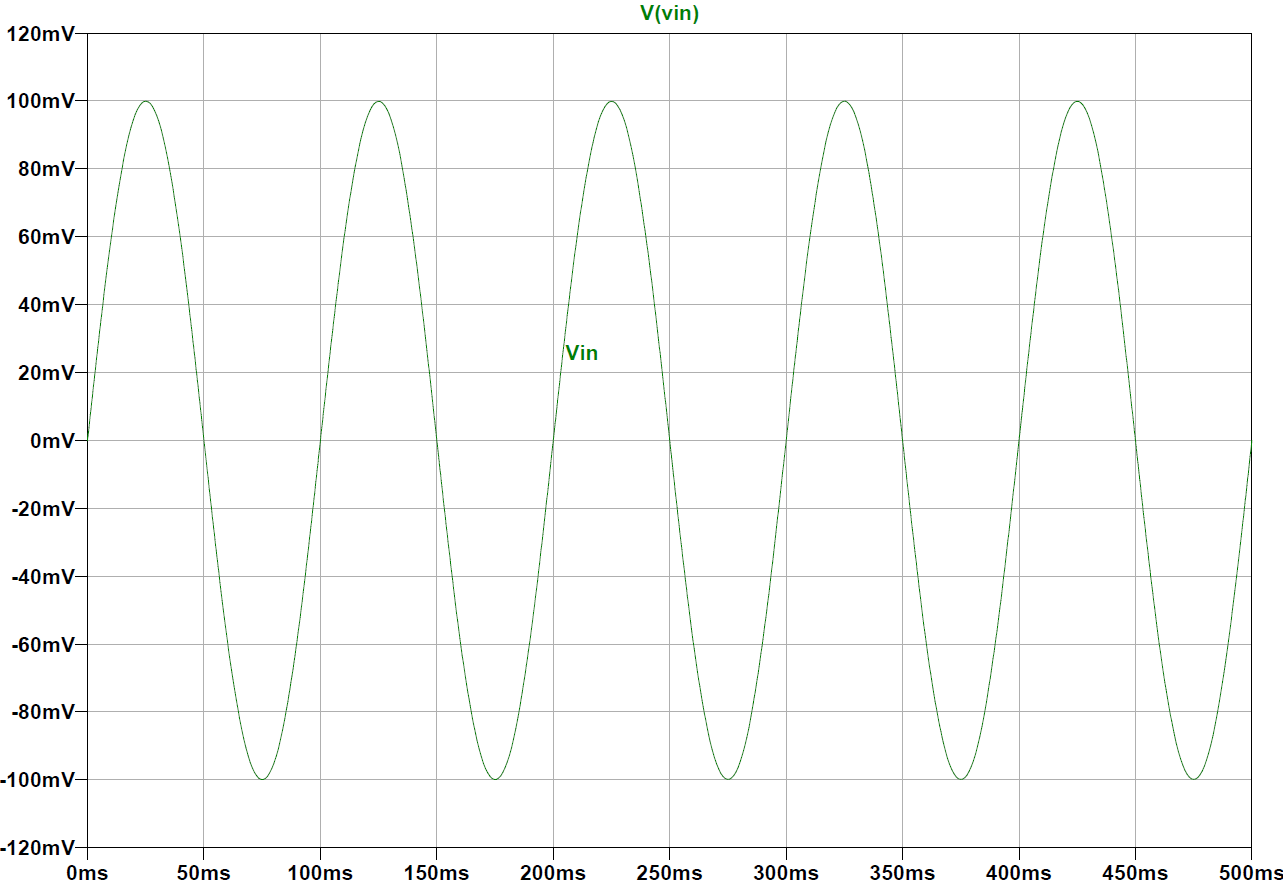
3.6 Simulare con SPICE il diagramma di Bode del circuito definito al punto 3.3. Per la simulazione sostituire l’amplificatore operazionale con un generatore di tensione comandato in tensione.

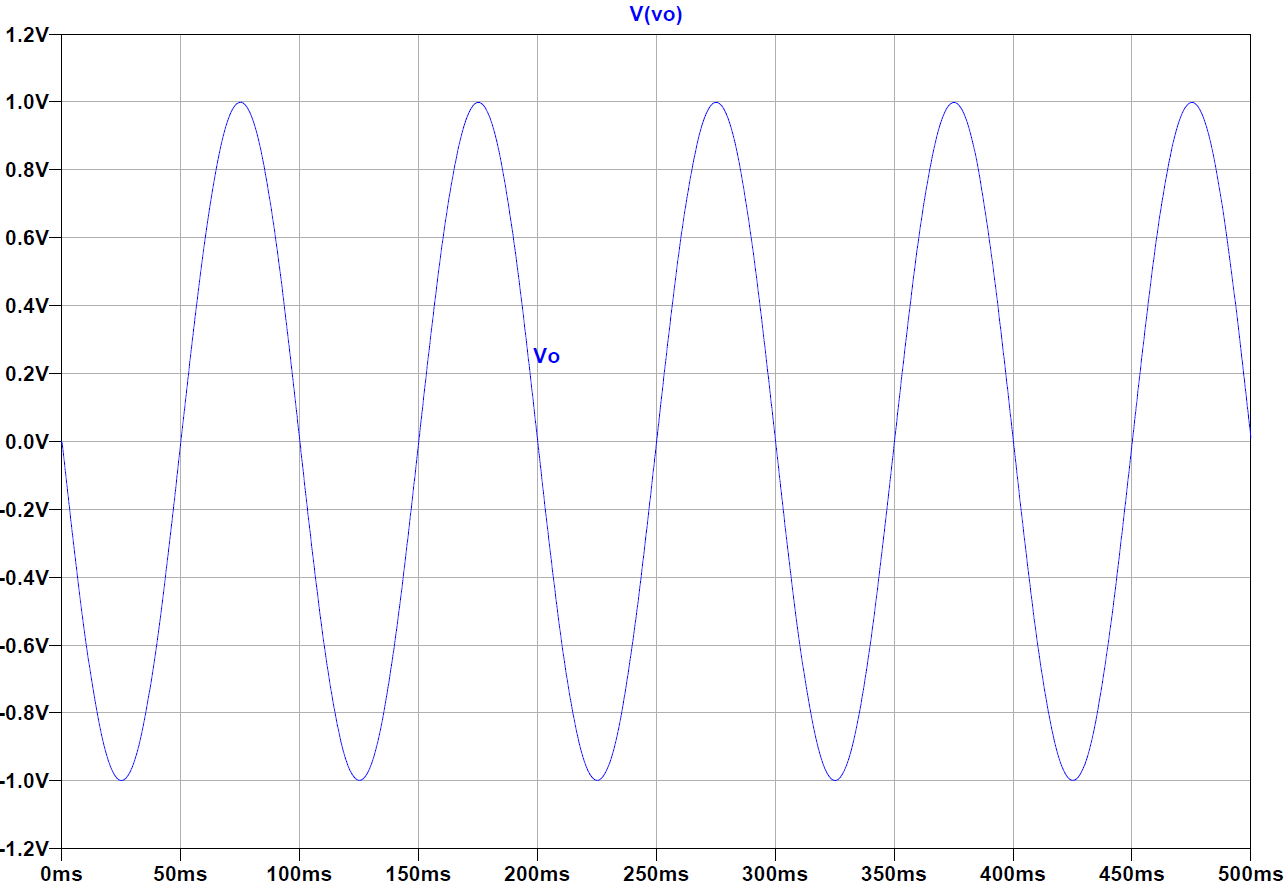
Soluzione:



3.7.1 Applicare un segnale sinusoidale all’ingresso, con ampiezza 100 mV, e frequenza pari a 10Hz. Graficare, su due piani xy separati, ma con la stessa scala temporale, 5 periodi della forma d’onda di Vin e di Vout.

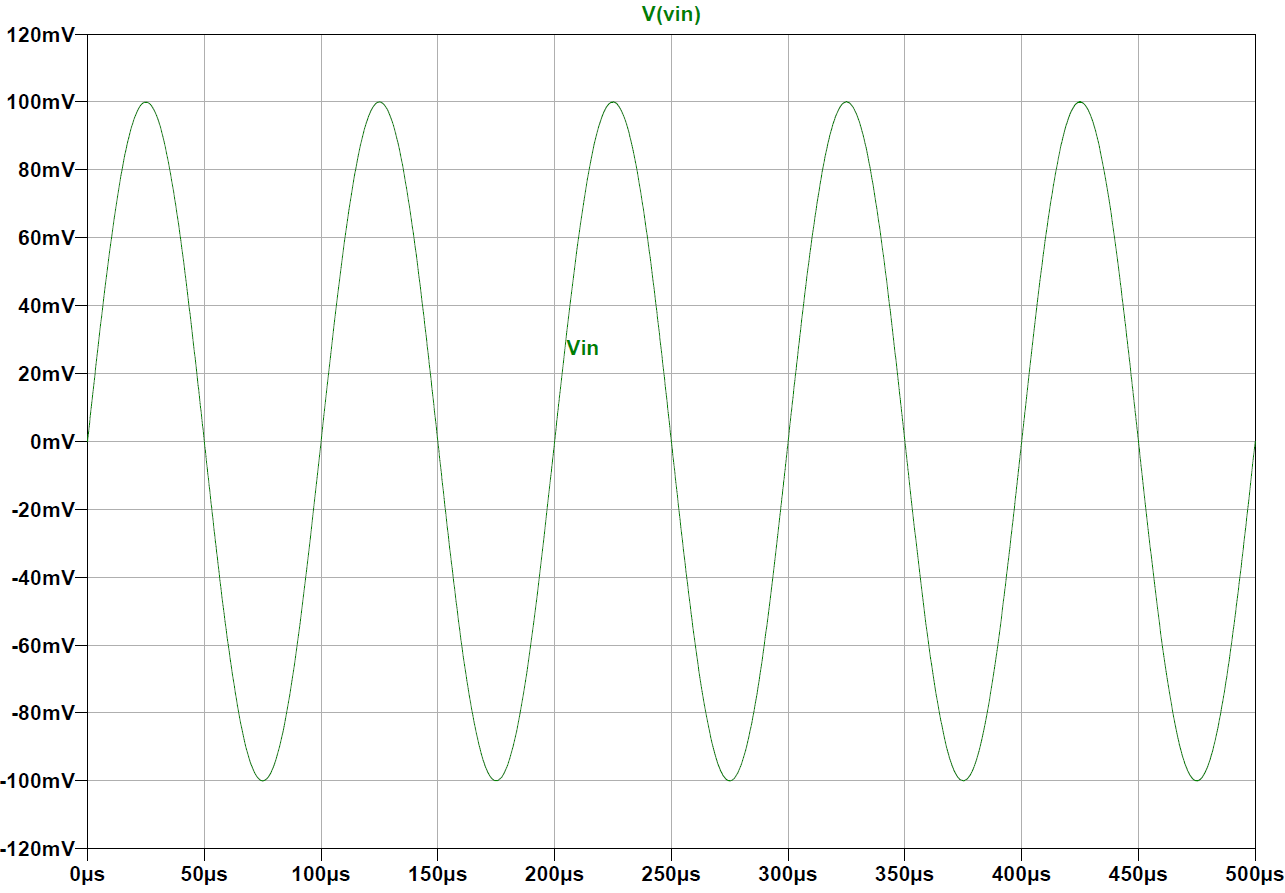
Soluzione:

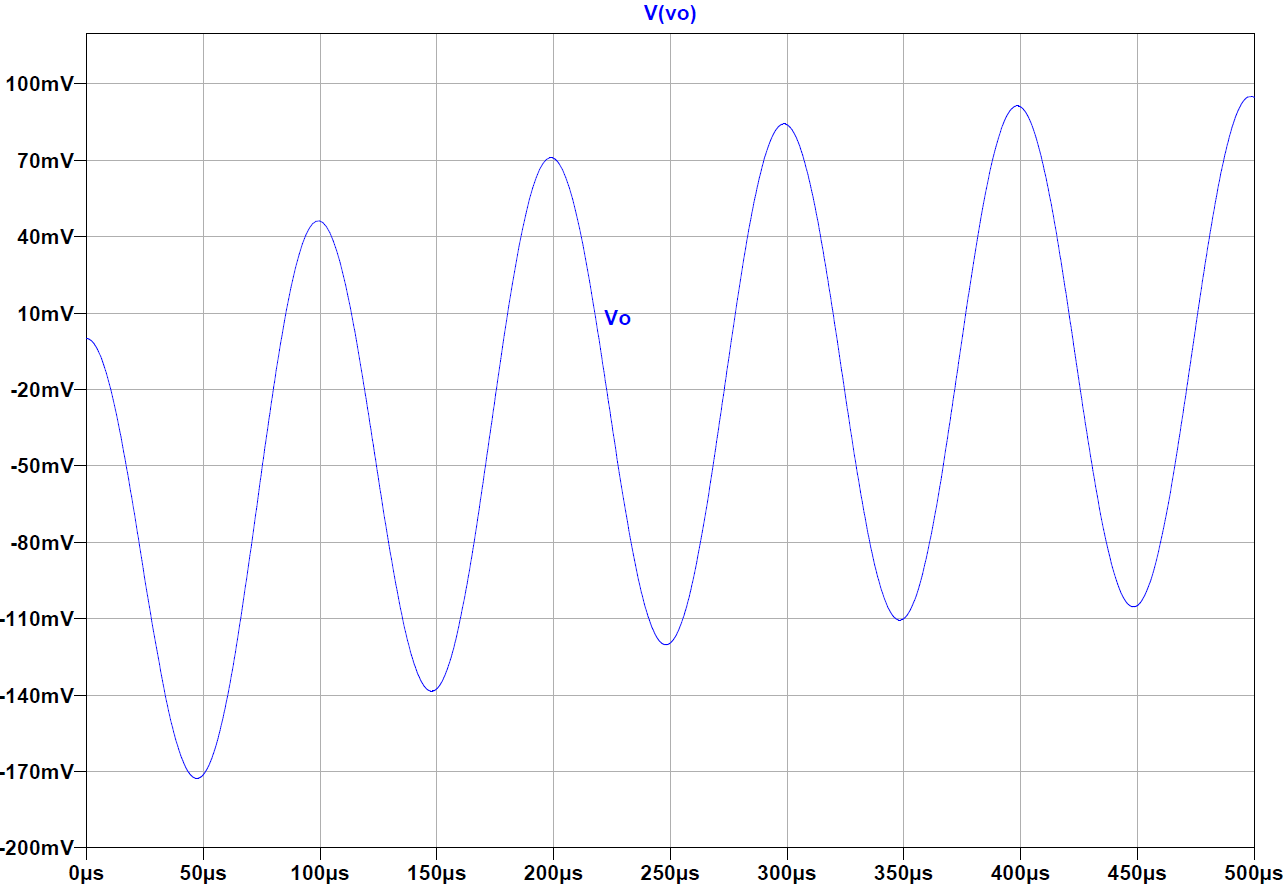




3.7.2 Applicare un segnale sinusoidale all’ingresso, con ampiezza 100 mV, e frequenza pari a 10kHz. Graficare, su due piani xy separati, ma con la stessa scala temporale, 5 periodi della forma d’onda di Vin e di Vout.

Soluzione:





Netlist esercizio 3:

**\* Punto 3.7.2**

R1 V- Vin 12183.17

R2 Vo V- 121831.7

C1 Vo V- 1.306350836n

Vin Vin 0 SINE(0 100m 10k)

E1 Vo 0 0 V- 10e8

.tran 500u

.backanno

.end

**\* Punto 3.7.1**

R1 V- Vin 12183.17

R2 Vo V- 121831.7

C1 Vo V- 1.306350836n

Vin Vin 0 SINE(0 100m 10)

E1 Vo 0 0 V- 10e8

.tran 500m

.backanno

.end

**\* Punto 3.6**

R1 V- Vin 12183.17

R2 Vo V- 121831.7

C1 Vo V- 1.306350836n

Vin Vin 0 AC 1

E1 Vo 0 0 V- 10e8

.ac dec 20 1 1MEG

.backanno

.end

**\* Schematico iniziale**

R1 V- Vin

R2 Vo V-

C1 Vo V-

Vin Vin 0

XU1 V- 0 Vo opamp Aol=100K GBW=10Meg

.lib opamp.sub

.backanno

.end